

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Исследование и расчет резистивно – емкостных делителей напряжения

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Севастополь
2007

УДК 621.396.6

Исследование и расчет резистивно – емкостных делителей напряжения

: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине "Аналоговая схемотехника" для студентов дневной и заочной форм обучения специальности " " / .Тестоедов, Васин – Севастополь: СевНТУ, 2007.–12с.

Ц е л ь у к а з а н и й : Обеспечить студентам возможность самостоятельной подготовки к выполнению и защите лабораторной работы.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры электронной техники , протокол № от 2007 г.

Рецензент:
университета.

Севастопольского национального технического

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой расчета и обеспечения оптимальных режимов работы резистивно – емкостных делителей напряжения в электронных устройствах. Экспериментально исследовать основные параметры делителя на постоянном и переменном токе.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В аналоговой электронике почти все схемы содержат простейшие цепи типа делителя напряжения. В общем виде делитель напряжения состоит из двух последовательно соединенных проводимостей любого типа.

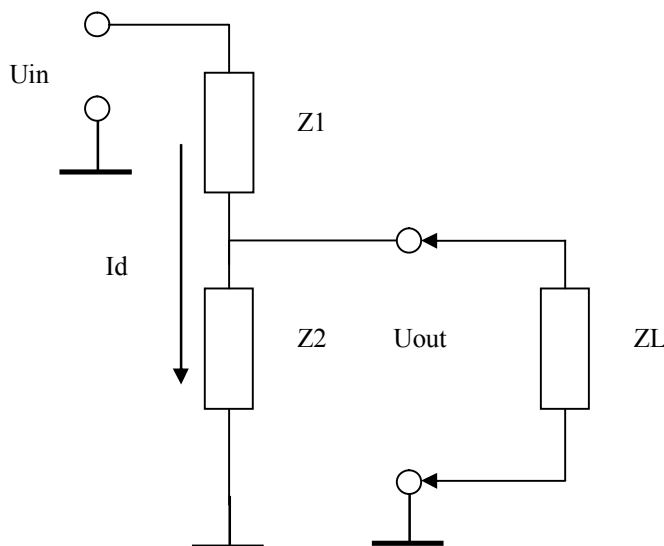


Рисунок 1. Делитель напряжения.

Как правило, сопротивление нагрузки Z_L значительно больше выходного сопротивления делителя, то есть обеспечивается условие генератора напряжения для нагрузки. В этом случае можно считать, что ток, протекающий в Z_1 и Z_2 один и тот же и равен

$$I_d = \frac{U_{in}}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

Напряжение на выходе делителя U_{out} определяется током делителя I_d и сопротивлением Z_2

$$U_{out} = I_d * Z_2 = U_{in} * \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

Коэффициент передачи делителя по напряжению K_d определяется как отношение выходного напряжения U_{out} ко входному U_{in}

$$K_d = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{\frac{Z_1}{Z_2} + 1} \quad (3)$$

Коэффициент передачи определяется соотношением Z_1 / Z_2 , следовательно, один и тот же коэффициент можно получить при различных значениях Z_1 и Z_2 . Ограничением на максимальную величину Z_2 является условие $Z_L \gg Z_2$, обеспечивающее условие генератора напряжения для нагрузки. В тоже время нет необходимости существенно уменьшать сопротивление Z_2 , так как это приводит к напрасному расходу энергии. Целесообразно выбирать $Z_2 = (10...20) * Z_L$. Делитель не должен воздействовать на амплитуду входного сигнала, то есть $Z_1 + Z_2$ должно быть гораздо больше (в 10 – 20 раз) выходного сопротивления источника U_{in} . Таким образом при расчете делителей напряжения необходимо знать как сопротивление нагрузки, так и выходное сопротивление источника входного сигнала. Выходное сопротивление источника, если это промышленный источник питания или генератор частоты можно получить из паспортных данных

на эти приборы. При отсутствии этих параметров выходное сопротивление можно оценить экспериментально путем измерения напряжения на выходе источника без подключения нагрузки, а затем с подключенной нагрузкой.

Источник сигнала можно представить в виде генератора напряжения GU и последовательно с ним включенного резистора с сопротивлением равным выходному R_i (рис.2).

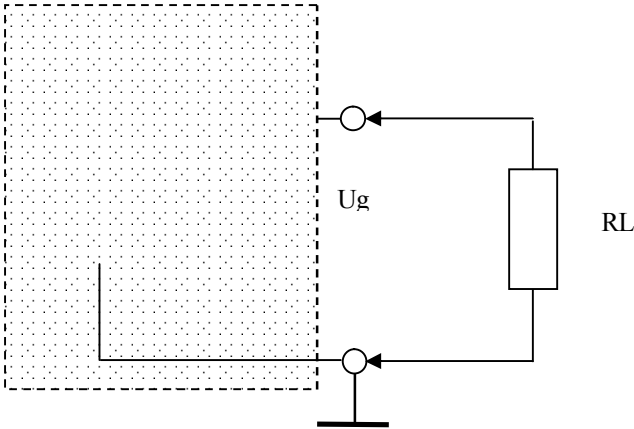


Рисунок 2. Схема измерения внутреннего сопротивления источника сигнала.

Вначале необходимо измерить напряжение на выходе источника сигнала без подключения нагрузки $U_g = U_{g0}$. Затем надо подключить нагрузку R_L с таким сопротивлением, чтобы напряжение на выходе источника U_g уменьшилось $U_g = U_{g1} < U_{g0}$ и измерить его величину U_{g1} . Внутреннее сопротивление источника рассчитывается по формуле

$$R_i = \left(\frac{U_{g0}}{U_{g1}} - 1 \right) * R_L \tag{4}$$

Схема, приведенная на рис.1 иллюстрирует делитель, для которого $K_d < 1$. Однако K_d может быть и больше единицы, если в схеме имеется дополнительный источник напряжения. На рис 3. показан резистивный делитель напряжения с $K_d > 1$.

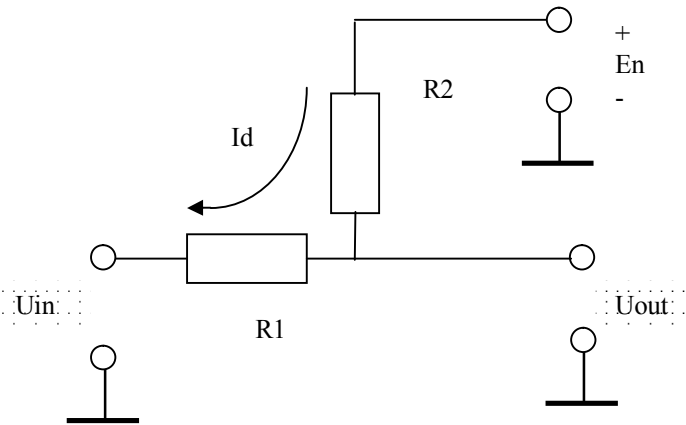


Рисунок 3. Резистивный делитель напряжения с $K_d > 1$.

Для такого делителя ток I_d протекающий через R_1 и R_2 равен



$$I_d = \frac{E_n - U_{in}}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

а выходное напряжение U_{out}

$$U_{out} = U_{in} + I_d * Z_1 = U_{in} + \frac{E_n - U_{in}}{R_1 + R_2} * R_1$$

Тогда коэффициент передачи по постоянному напряжению будет равен

$$K_d = \frac{U_{out}}{U_{in}} = 1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} * \left(\frac{E_n}{U_{in}} - 1 \right) \quad (6)$$

Если $E_n > U_{in}$, то $\frac{R_1}{R_1 + R_2} * \left(\frac{E_n}{U_{in}} - 1 \right) > 0$. Значит $K_d > 1$ и $U_{out} > U_{in}$. Отметим, что $K_d > 1$ получено

для постоянной составляющей, поскольку по переменному току резистор R_2 фактически подключен к земле и в этом случае $K_d < 1$, так как схема приводится к виду, представленному на рис. 1. Это происходит потому, что дополнительный источник питания E_n имеет малое внутренне сопротивление по переменному току (на выходе источника стоит конденсатор большой емкости на землю).

Простейшие делители напряжения строятся на резисторах и конденсаторах. На рис. 4 показан емкостной делитель, используемый только в цепях переменного тока.

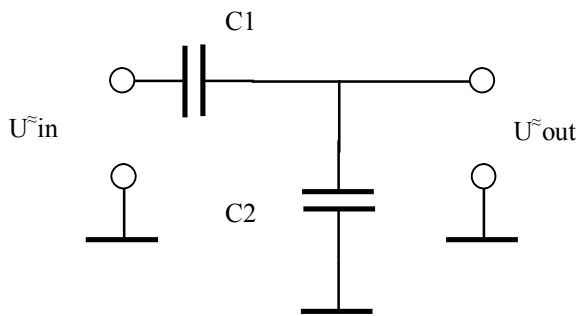


Рисунок 4. Емкостной делитель напряжения.

Расчет емкостного делителя напряжения производится по ранее полученным формулам (2) и (3) в которых

$$Z = \frac{1}{2 * \pi * F * C} \quad (7)$$

где, F – частота в Гц, для которой проводится расчет;
 C – емкость конденсатора в фарадах.

Резистивно-емкостной делитель (рис.5) можно представить суперпозицией резистивного делителя выполненного на резисторах R_1 и R_2 для постоянной составляющей сигнала и емкостного делителя C_1 и C_2 для переменной составляющей. Поэтому расчет можно проводить для каждого делителя отдельно. Резистивный делитель имеет коэффициент передачи K_{dR} , а емкостной – K_{dC} . Номиналы элементов необходимо выбирать так, чтобы переменная составляющая тока проходила только по емкостному делителю и практически не ответвлялась в резистивный делитель. Постоянная составляющая не ответвляется в емкостной делитель, поскольку сопротивление конденсаторов на постоянном токе равно бесконечности.

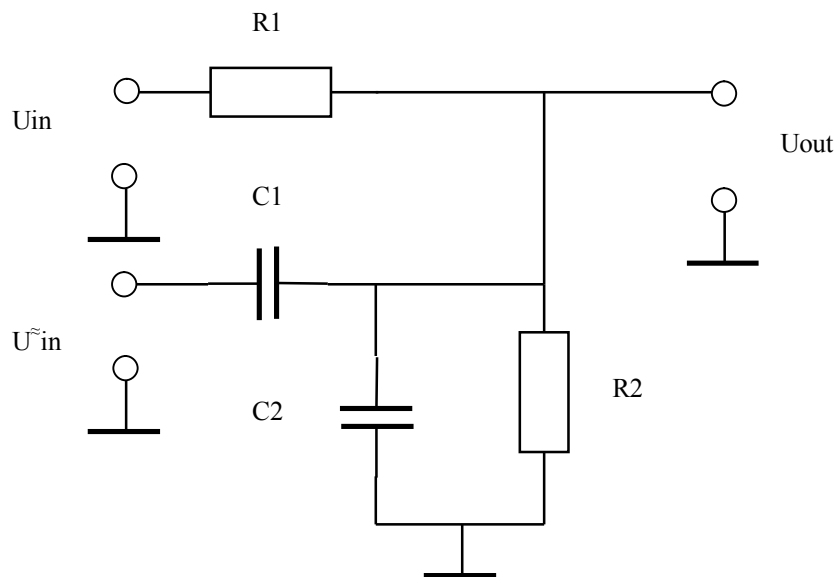


Рисунок 5. Резистивно-емкостной делитель напряжения.

Получим выражения для коэффициентов передачи и проанализируем условия, при которых выполняется принцип суперпозиции постоянной и переменной составляющей сигнала.

Поскольку, постоянная составляющая тока не ответвляется в емкостной делитель, коэффициент передачи K_{dR} определяется только резисторами $R1$ и $R2$.

$$K_{dR} = \frac{U_{out}^-}{U_{in}} = \frac{I^- * R2}{U_{in}} = \frac{U_{in} * R2}{U_{in} * (R1 + R2)} = \frac{R2}{R1 + R2} \quad (8)$$

где, I^- - ток, протекающий от источника U_{in} через резисторы $R1$ и $R2$.

Переменный ток $I^{\sim}$ от источника $U_{in}^{\sim}$ проходит через конденсатор $C1$ и затем разветвляется на три параллельные ветви: $C2$, $R1$ и $R2$. Протекание переменного тока через $R1$ обусловлено тем, что источник U_{in} для переменной составляющей подсоединен к земле через свое внутреннее сопротивление (обычно оно мало и его можно считать равным нулю). Напряжение переменной составляющей на выходе $U_{out}^{\sim}$ будет равно

$$U_{out}^{\sim} = I^{\sim} * (Z_{c2} || R1 || R2) \quad (9)$$

где, Z_{c2} – сопротивление конденсатора $C2$

$$Z_{c2} = \frac{1}{2 * \pi * F * C2} \quad (10)$$

Если номинал конденсатора $C2$ выбрать таким, чтобы его сопротивление на частоте F сигнала то $U_{in}^{\sim}$ было гораздо меньше (в 10...20 раз), чем сопротивление параллельно соединенных резисторов $R1$ и $R2$, то выражение (9) существенно упростится

$$U_{out}^{\sim} = I^{\sim} * Z_{c2} = U_{in}^{\sim} * \frac{Z_{c2}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \quad (11)$$

Тогда коэффициент передачи для емкостного делителя K_{dC} можно рассчитать по формуле

$$KdC = \frac{U_{in}^{out}}{U_{in}} = \frac{Z_{c2}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \quad (12)$$

Учитывая соотношение (7), получим

$$KdC = \frac{1}{\frac{Z_{c1}}{Z_{c2}} + 1} = \frac{1}{\frac{2 * \pi * F * C2}{2 * \pi * F * C1} + 1} = \frac{1}{\frac{C2}{C1} + 1} \quad (13)$$

Выражение (13) можно использовать только при условии

$$Z_{c2} \ll R1 \parallel R2$$

Учитывая соотношение (7), получим

$$\frac{1}{2 * \pi * F * C2} \ll \frac{R1 * R2}{R1 + R2} \quad (14)$$

В то же время реактивное сопротивление емкостного делителя должно быть в 10...20 раз больше внутреннего сопротивления источника переменного сигнала $Ri_{U_{in}}$

$$Ri_{U_{in}} \ll Z_{c1} + Z_{c2} \quad (15)$$

Используя соотношения (8), (13), (14) и (15) можно рассчитать номиналы резисторов и конденсаторов резистивно – емкостного делителя, схема которого показана на рис. 5.

Исходными данными для расчета являются значения коэффициентов передачи по постоянной составляющей KdR , по переменной составляющей KdC , частота переменного сигнала F и внутреннее сопротивление источника переменного сигнала $Ri_{U_{in}}$ (определение внутреннего сопротивления рассмотрено выше).

Расчет целесообразно начинать с определения значений емкостей конденсаторов $C1$ и $C2$ емкостного делителя. Примем, что входное сопротивление емкостного делителя в 10 раз больше внутреннего сопротивления источника переменного сигнала. То есть, при подключении емкостного делителя к источнику, напряжение на его выходе уменьшится всего на 10%. Тогда, выражение (15) с учетом (7) примет вид

$$10 * Ri_{U_{in}} = (Z_{c1} + Z_{c2}) = \frac{1}{2 * \pi * F} * \left(\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} \right) \quad (16)$$

Выразив из уравнений (13) и (16) $C2$ и приравняв правые части, получим выражение для $C1$

$$C1 = \frac{1}{(1 - KdC) * 10 * 2 * \pi * F * Ri_{U_{in}}} \quad (17)$$

Рассчитав значение $C1$, можно вычислить $C2$, воспользовавшись соотношением (13)

$$C2 = C1 * \left(\frac{1}{KdC} - 1 \right) \quad (18)$$

Примем, что сопротивление конденсатора $C2$ на частоте F в 10 раз меньше сопротивления параллельно соединенных резисторов $R1$ и $R2$. То есть в резистивный делитель отводится только 0.1 тока I_{in} , протекающая через конденсатор $C1$. Тогда, выражение (14) примет вид

$$\frac{10}{2 * \pi * F * C2} = \frac{R1 * R2}{R1 + R2} \quad (20)$$

Выразив из уравнений (8) и (20) R1 и приравняв правые части, получим выражение для R2

$$R2 = \frac{10}{(1 - KdR) * 2 * \pi * F * C2} \quad (21)$$

где, KdR – коэффициент передачи по постоянному напряжению.

Рассчитав значение R2, можно вычислить R1, воспользовавшись соотношением (8)

$$R1 = R2 * \left(\frac{1}{KdR} - 1 \right) \quad (22)$$

Рассчитанные значения номиналов резисторов и конденсаторов должны быть скорректированы в соответствие с выбранным стандартным рядом номиналов (см. Приложение В).

Рассмотрим случай, когда резистивный делитель соответствует схеме, приведенной на рис. 3. Выразив из уравнений (6) и (20) R1 и приравняв правые части, получим выражение для R2

$$R2 = \frac{\frac{En}{Uin} - 1}{KdR - 1} * \frac{10}{2 * \pi * F * C2} \quad (23)$$

Рассчитав значение R2, можно вычислить R1, воспользовавшись соотношением (6)

$$R1 = R2 * \frac{KdR - 1}{\frac{En}{Uin} - KdR} \quad (24)$$

2. ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В лабораторной работе используются промышленные источники постоянного тока, генераторы переменного сигнала и осциллограф. Инструкцию по их эксплуатации необходимо тщательно изучить. Кроме того, студентам предоставляются монтажные платы, соединительные провода и полная номенклатура резисторов и конденсаторов.

Получив задание, студент должен рассчитать резистивно-емкостной делитель заданной конфигурации и проверить правильность расчета, смоделировав схему на компьютере. Для моделирования схемы можно использовать программные пакеты WORKBENCH или PROTEUS. Убедившись в правильности расчетов и выборе номиналов элементов, на монтажной плате собирается схема, к которой с соединительными проводами подключаются источник питания, генератор и осциллограф. Перед включением схемы необходимо убедиться в наличии заземления у приборов. Также нужно тщательно проверить правильность подсоединения приборов к схеме, обратив особое внимание на подключение земли схемы и приборов.

Отладку схемы целесообразно начинать с режима по постоянному току.

Установив необходимые значения напряжений источника питания и напряжения и частоту генератора, с помощью осциллографа отснять диаграммы напряжений на входах и выходе схемы по постоянному и переменному току.

3.ЗАДАНИЯ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

Номер варианта	Коэффициент передачи по постоянному напряжению KdR	Коэффициент передачи по переменному сигналу KdC	Частота переменного сигнала, кГц	Схема делителя	Напряжение источника постоянного напряжения Uin, В	Напряжение источника питания En, В
1	0.8	0.1	1	1		
2	0.6	0.2	2	1		
3	0.5	0.3	5	1		
4	0.4	0.4	10	1		
5	0.2	0.5	20	1		
6	0.1	0.6	50	1		
7	2	0.7	100	2	+2	+10
8	3	0.8	1	2	+2.5	+12
9	5	0.1	2	2	+1	+15
10	1.5	0.2	5	2	+3.5	+8
11	6	0.3	10	2	+0.5	+6
12	4	0.4	20	2	+1.5	+10
13	2.5	0.5	50	3	+2	+10
14	3	0.6	100	3	+2.5	+12
15	8	0.7	1	3	+1	+15
16	1.5	0.8	2	3	+3.5	+8
17	7	0.1	5	3	+0.5	+6
18	4	0.2	10	3	+1.5	+10
19	0.8	0.3	20	4		+10
20	0.6	0.4	50	4		+12
21	0.5	0.5	100	4		+15
22	0.4	0.6	10	4		+8
23	0.2	0.7	20	4		+6
24	0.1	0.8	50	4		+10

4.ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

О т ч е т по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист с указанием названия работы, группы и фамилий исполнителей;
- раздел «Постановка задач исследования», в котором кратко формулируются расчетные и экспериментальные задачи;
- раздел «Предварительные расчеты», в котором приводятся условия расчета, исходные данные и результаты расчета;
- раздел «Результаты эксперимента», в котором описываются условия каждого эксперимента, приводятся результаты непосредственных измерений ;
- раздел «Выводы», в котором оценивается степень согласия расчетных и экспериментальных результатов по каждому пункту задания. Число пунктов выводов должно соответствовать числу пунктов задания. Следует оценивать количественное и качественное согласие расчетных и экспериментальных данных.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. Как рассчитать выходное сопротивление делителя?
2. Как измерить внутреннее сопротивление источника сигнала?
3. Покажете направление токов для постоянной и переменной составляющих, в схемах, приведенных в Приложении А.
4. Получите выражения для расчета номиналов элементов делителей для схем, приведенных в Приложении А.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Малахов В.П. Схемотехника аналоговых устройств: Учебник для втузов – Одесса.: АстоПринт,2000.– 212с.
2. Гальперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. – М.: Энергоиздат, 1987. –320с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т2– М.: Мир, 1993. – 371с.

Приложение А.

Схемы делителей

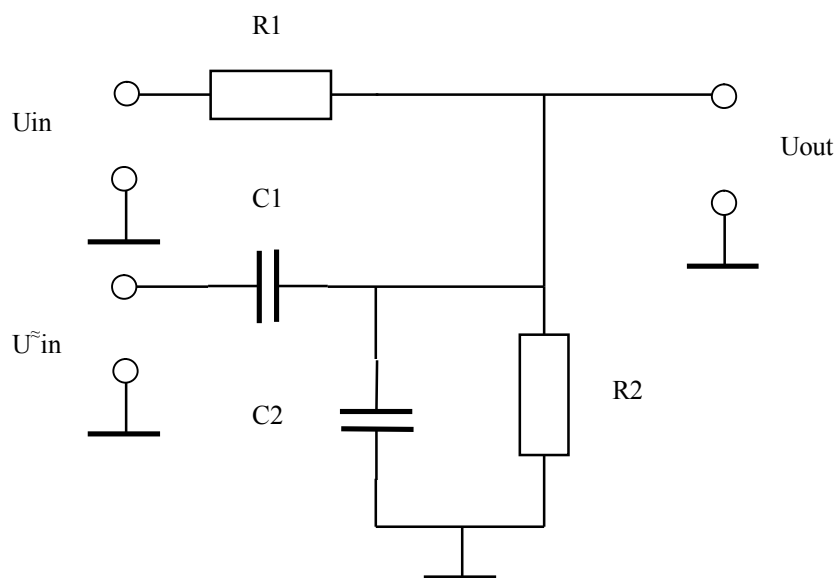


Рисунок П1. Схема 1.

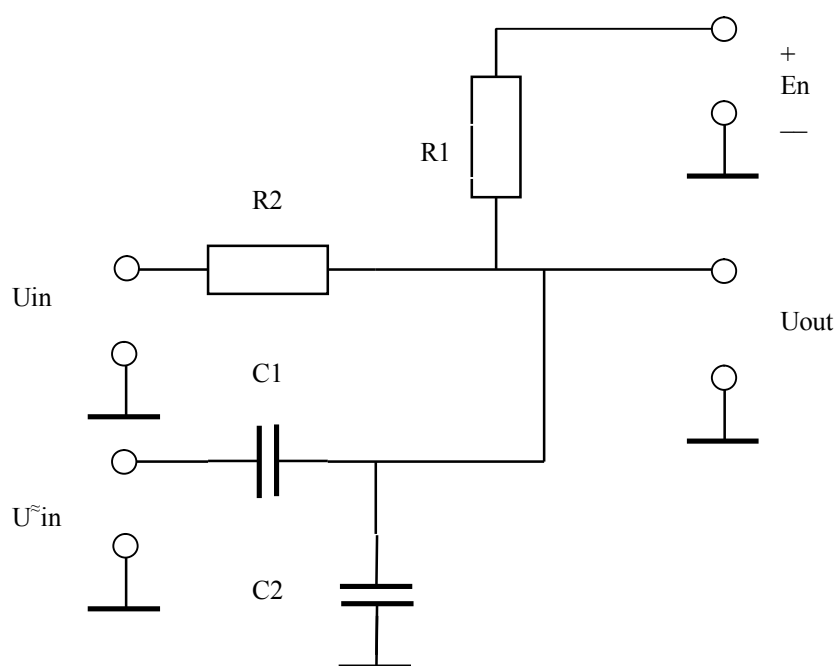


Рисунок П2. Схема 2.

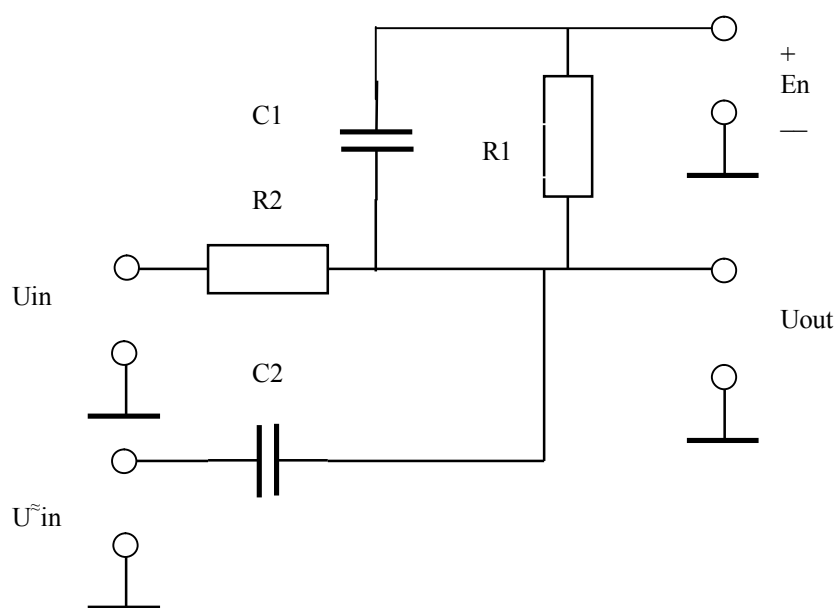


Рисунок П3. Схема 3.

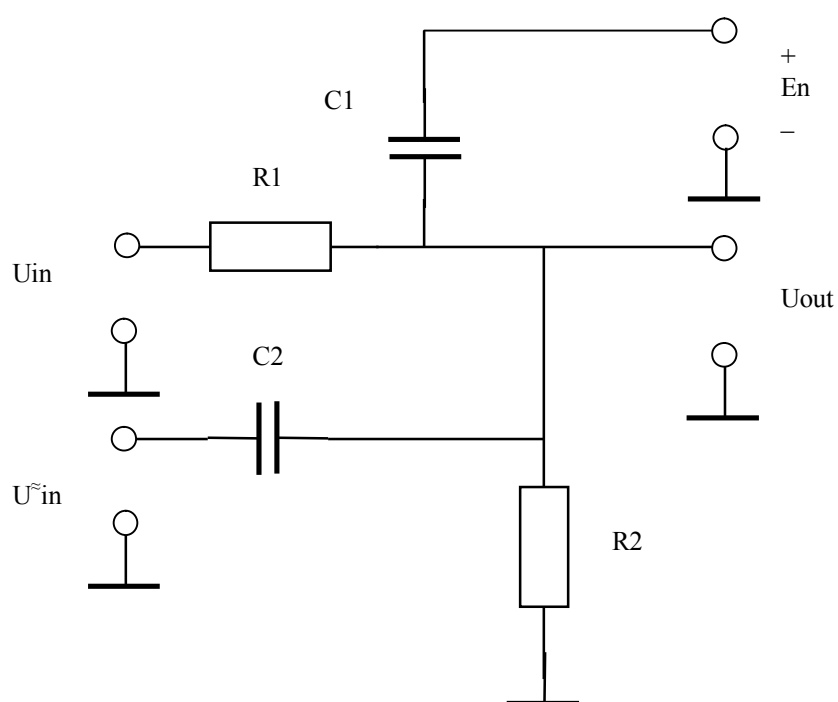


Рисунок П4. Схема 4.

Приложение В.

Стандартные ряды номиналов E12, E24, E48, E96

Таблица В.1 – Значения номиналов стандартных рядов

E96	E48	E24	E12	E96	E48	E24	E12	E96	E48	E24	E12
1.00	1.00	1.0	1.0	2.15	2.15			4.64	4.64		
1.02				2.21		2.2	2.2	4.75		4.7	4.7
1.05	1.05			2.26	2.26			4.87	4.87		
1.07				2.32				4.99			
1.10	1.10	1.1		2.37	2.37			5.11	5.11	5.1	
1.13				2.43		2.4		5.23			
1.15	1.15			2.49	2.49			5.36	5.36		
1.18				2.55				5.49			
1.21	1.21	1.2	1.2	2.61	2.61			5.62	5.62	5.6	5.6
1.24				2.67				5.76			
1.27	1.27			2.74	2.74	2.7	2.7	5.90	5.90		
1.30		1.3		2.80				6.04			
1.33	1.33			2.87	2.87			6.19	6.19	6.2	
1.37				2.94				6.34			
1.40	1.40			3.01	3.01	3.0		6.49	6.49		
1.43				3.09				6.65			
1.47	1.47			3.16	3.16			6.81	6.81	6.8	6.8
1.50		1.5	1.5	3.24				6.98			

1.54	1.54			3.32	3.32	3.3	3.3	7.15	7.15		
1.58				3.40				7.32			
1.62	1.62	1.6		3.48	3.48			7.50	7.50	7.5	
1.65				3.57				7.68			
1.69	1.69			3.65	3.65	3.6		7.87	7.87		
1.74				3.74				8.06			
1.78	1.78	1.8	1.8	3.83	3.83			8.25	8.25	8.2	8.2
1.82				3.92		3.9	3.9	8.45			
1.87	1.87			4.02	4.02			8.66	8.66		
1.91				4.12				8.87			
1.96	1.96			4.22	4.22			9.09	9.09	9.1	
2.0		1.0		4.32		4.3		9.31			
2.05	2.5			4.42	4.42			9.53	9.53		
2.10				4.53				9.76			

Стандартные величины сопротивлений резисторов или емкости конденсаторов определяют путем умножения чисел ряда на 10^N, где N – целое положительное или отрицательное число. Предельные значения N зависят от типов резисторов и конденсаторов.

